

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

---

**13/21/3**

**Одобрено кафедрой  
«Тяговый подвижной состав»**

**Утверждено  
деканом факультета  
«Транспортные средства»**

# **АВТОМАТИКА И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА ЛОКОМОТИВОВ**

**Рабочая программа и задание на курсовую работу  
с методическими указаниями  
для студентов VI курса**

**специальности**

**190301 ЛОКОМОТИВЫ (Т)**

**РОАТ**

**Москва – 2010**

Составитель – д-р техн. наук, проф. А.С. Космодамианский

Рецензент – д-р техн. наук, проф. В.П. Смирнов

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

## **1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

Цель изучения дисциплины «Автоматика и микропроцессорная техника локомотивов» заключается в том, чтобы ознакомить будущих специалистов с основами теории линейных автоматических систем, методами и средствами, используемыми при создании автоматических систем, принципами построения, настройки и эксплуатации локомотивных автоматических систем управления, регулирования и защиты.

## **2. ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Изучив дисциплину, студент должен:

*2.1. Знать и уметь использовать:*

- основы теории линейных автоматических систем;
- принципы построения, основы методов определения устойчивости и качества работы, методы и средства, используемые при создании локомотивных автоматических систем;
- принципы построения, действия, настройки и эксплуатации локомотивных автоматических систем управления, регулирования и защиты;

*2.2. Владеть методами:*

- расчета, конструирования и испытаний автоматических устройств, регуляторов и систем управления, регулирования и защиты;
- настройки и эксплуатации автоматических систем управления, регулирования и защиты;

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость дисциплины	100
Аудиторные занятия:	16
лекции	8
лабораторные работы	8
Курсовая работа	30
Самостоятельная работа	54
Вид итогового контроля	Экзамен

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 4.1. РАЗДЕЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ ЗАНЯТИЙ

Раздел дисциплины	Лекции
Предмет и содержание дисциплины. Принципы построения автоматических систем. Классификация локомотивных автоматических систем управления, регулирования и защиты. Алгоритмы работы автоматических регуляторов. Схемы автоматических систем: принципиальные, функциональные, структурные.	2
Статические и динамические характеристики и параметры автоматических систем и их элементов. Типовые динамические звенья автоматических систем. Типовые соединения динамических звеньев. Устойчивость и качество работы автоматических систем. Критерии устойчивости.	3
Локомотивные автоматические системы регулирования частоты вращения валов энергетических установок, обычные и микропроцессорные. Локомотивные автоматические системы регулирования напряжения тяговых генераторов, обычные и микропроцессорные. Локомотивные автоматические системы регулирования температуры теплоносителей энергетических установок, обычные и микропроцессорные.	3

#### 4.2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

**Раздел 1.** Фундаментальные принципы построения автоматических систем. Схемы и классы систем. Алгоритмы (законы) работы автоматических регуляторов. Особенности алгоритмов работы автоматических микропроцессорных регуляторов.

**Раздел 2.** Режимы работы систем и их элементов. Математические основы теории линейных автоматических систем. Статические характеристики и параметры. Динамические характеристики и параметры. Понятие о типовых динамических линейных звеньях. Особенности математического описания статики и динамики автоматических микропроцессорных регуляторов.

**Раздел 3.** Типовые динамические звенья автоматических систем. Пропорциональное звено. Интегрирующее звено. Инерционные звенья. Дифференцирующие звенья. Звенья второго порядка. Звено запаздывания. Дифференциальные уравнения, переходные и частотные функции типовых звеньев.

**Раздел 4.** Типовые соединения динамических звеньев. Последовательное соединение. Параллельное согласное соединение. Параллельное встречное соединение. Уравнение динамики и характеристики одноконтурной разомкнутой системы. Уравнение динамики и характеристики одноконтурной замкнутой системы. Частотные функции и характеристики разомкнутых и замкнутых автоматических систем. Передаточные и частотные функции и характеристики автоматических микропроцессорных систем. Примеры составления и преобразования структурных схем тепловозных автоматических систем.

**Раздел 5.** Устойчивость и качество работы автоматических систем. Понятия устойчивости и качества. Критерии устойчивости. Устойчивость систем, содержащих последовательно включенные апериодические инерционные звенья. Устойчивость систем, содержащих последовательно включенные апериодические, колебательные и интегрирующие звенья. Влияние на устойчивость и качество работы системы последовательно включенного звена запаздывания. Способы повышения устойчивости и качества работы. Методы оценки качества работы. Моделирование автоматических устройств и систем. Особенности определения устойчивости и показателей качества работы автоматических микропроцессорных систем. Определение устойчивости и качества работы систем с использованием ПЭВМ.

**Раздел 6.** Классификация локомотивных автоматических систем управления, регулирования и защиты. Признаки классификации систем и задачи автоматизации локомотивов. Виды локомотивных автоматических систем.

**Раздел 7.** Автоматическое регулирование частоты вращения валов энергетических установок. Задачи автоматизации дизель-генераторов и дизель-гидравлических установок. Функциональные схемы систем регулирования частоты вращения. Статические и динамические характеристики и параметры дизель-генераторов и дизель-гидравлических установок. Статические и динамические характеристики и параметры автоматических гидромеханических и микропроцессорных регуляторов частоты вращения. Устойчивость, качество работы и настройка автоматических обычных и микропроцессорных систем регулирования частоты вращения.

**Раздел 8.** Автоматическое регулирование напряжения тяговых генераторов. Классификация систем регулирования напряжения тяговых генераторов. Схемы систем регулирования напряжения тяговых генераторов постоянного и переменного тока. Статические и динамические характеристики и параметры тяговых генераторов. Статические и динамические свойства автоматических обычных аппаратно-машинных и микропроцессорных регуляторов напряжения. Устойчивость, качество работы и настройка автоматических обычных и микропроцессорных систем регулирования напряжения.

**Раздел 9.** Автоматическое управление тяговыми электродвигателями и передачами мощности. Классификация систем управления тяговыми электродвигателями и передачами мощности и предъявляемые к ним требования. Схемы автоматических систем управления. Статические и динамические свойства тяговых электродвигателей, передач мощности и элементов систем управления ими. Статические и динамические свойства автоматических систем управления.

**Раздел 10.** Автоматическое регулирование напряжения вспомогательных генераторов. Классификация автоматических систем регулирования напряжения вспомогательных генераторов и предъявляемые к ним требования. Схемы автоматических обычных и микропроцессорных систем регулирования напряжения. Статические и динамические свойства вспомогательных генераторов и регуляторов их напряжения. Принципиальные и структурные схемы, устойчивость и качество работы автоматических обычных и микропроцессорных систем регулирования напряжения вспомогательных генераторов.

**Раздел 11.** Автоматическое регулирование температуры теплоносителей энергетических установок. Оптимальные температурные режимы энергетических установок. Классификация и функциональные схемы автоматических систем регулирования температуры и предъявляемые к ним требования. Классификация и схемы систем охлаждения. Статические и динамические свойства систем охлаждения как объектов регулирования температуры. Схемы, статические и динамические свойства автоматических пневмогидравлических и микропроцессорных регуляторов температуры. Принципиальные и структурные схемы, устойчивость, качество работы и настройка автоматических обычных и микропроцессорных систем регулирования температуры. Техничко-эксплуатационные показатели автоматических систем регулирования температуры теплоносителей.

**Раздел 12.** Автоматическое регулирование давления в пневматических системах локомотивов. Классификация и функциональные схемы автоматических систем регулирования давления в пневматических системах локомотивов и предъявляемые к ним требования. Классификация и схемы пневматических систем локомотивов как объектов регулирования давления. Статические и динамические свойства пневматических систем локомотивов. Схемы, статические и динамические свойства автоматических регуляторов давления. Принципиальные и структурные схемы, устойчивость, качество работы и настройка автоматических обычных и микропроцессорных систем регулирования давления.

**Раздел 13.** Автоматическая защита агрегатов и систем. Классификация автоматических систем защиты и предъявляемые к ним требования. Автоматические системы защиты дизеля. Автоматические системы защиты передачи мощности. Автоматические бортовые микропроцессорные системы технической диагностики.

**Раздел 14.** Автоматическое торможение. Классификация автоматических систем регулирования скорости движения локомотивов при торможении и предъявляемые к ним требования. Статические и динамические свойства локомотива с составом как объекта управления. Статические и динамические свойства автоматических регуляторов скорости поезда при торможении. Определение устойчивости и качества работы автоматических систем регулирования скорости поезда при торможении.

**Раздел 15.** Автоматическое регулирование скорости движения локомотива и ведения поезда. Классификация автоматических систем регулирования скорости локомотива и ведения поезда и предъявляемые к ним требования. Статические и динамические свойства автоматических регуляторов скорости и устройств управления поездом при работе локомотива в тяговом режиме. Критерии оптимальности управления локомотивом при автоматическом ведении поезда. Функциональные схемы автоматических систем ведения локомотивов. Программы оптимального ведения поезда и пути их реализации. Схемы программных автоматических систем ведения поезда, поисковых автоматических систем оптимального ведения поезда.

### 4.3. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
2, 3, 4	Определение статических и динамических характеристик и параметров объекта регулирования или управления
2, 3, 4	Определение статических и динамических характеристик и параметров измерительных устройств и управляющих органов
2, 3, 4	Определение статических и динамических характеристик и параметров усилительно-преобразующих устройств, исполнительных механизмов, регулирующих органов
3, 4, 5	Исследование временных и частотных характеристик типовых динамических звеньев автоматических систем и их соединений
3, 4, 5	Исследование устойчивости и качества работы статической и астатической автоматической системы регулирования (частоты вращения вала энергетической установки, напряжения тягового генератора, температуры теплоносителей энергетической установки)
7, 8, 11	Определение статических и динамических характеристик и параметров автоматических регуляторов (частоты вращения вала энергетической установки, напряжения тягового генератора, температуры теплоносителей энергетической установки)
7, 8, 11	Определение устойчивости, показателей качества работы и настройка микропроцессорных автоматических систем регулирования (частоты вращения вала энергетической установки, напряжения тягового генератора, температуры теплоносителей энергетической установки)

## **5. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА**

В курсовой работе по дисциплине в первом разделе разрабатывают одну из тем по автоматике и автоматизации локомотивов. При этом разрабатывают функциональную и структурную схемы автоматической системы управления, регулирования или защиты, выполняют описание ее работы, приводят ее основные характеристики, анализируют взаимосвязь отдельных элементов автоматики, дают оценку устойчивости.

Во втором разделе решают две задачи из теории линейных автоматических систем. При этом проводят аппроксимацию (передаточной функцией заданного вида) экспериментальной нормированной переходной временной кривой объекта регулирования, полученной после скачкообразного изменения на его входе. Затем выполняют расчет аппроксимирующей переходной временной кривой объекта регулирования. В заключение на график наносят экспериментальную и аппроксимирующую переходную временную кривые.

Примерный объем курсовой работы – 20 с.

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

#### *Основная*

1. Луков Н.М., Космодамианский А.С. Автоматические системы управления локомотивов: Учеб. для вузов ж.-д. транспорта – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на ж.-д. транспорте», 2007. – 429 с.

2. Автоматика и автоматические системы локомотивов: Уч. пос./ А.С.Космодамианский, В.И.Воробьев, А.А.Пугачев, А.Д.Хохлов, Ю.В.Попов, Н.Н.Стрекалов. – М.: РГОТУПС, 2008. – 97 с.

3. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы: Уч. пос. – М.: Машиностроение, 1982. – 504 с.

4. Луков Н.М. Автоматическое регулирование температуры двигателей. – М.: Машиностроение, 1995. – 271 с.

*Дополнительная*

5. Космодамианский А.С. Автоматика и автоматические системы транспортных машин: Уч. пос. для вузов/ А.С. Космодамианский, В.И.Воробьев, А.А.Пугачев, М.И.Борзенков, А.И.Ивахин, Г.П.Жилин, Н.М.Луков. - Орел: Орел ГТУ, 2008. – 104 с.

6. Луков Н.М. Автоматизация тепловозов, газотурбовозов и дизель-поездов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.

7. Микропроцессорные системы автоматического регулирования электропередачи тепловозов: Уч. пос. для студентов вузов ж.-д. трансп./ Под ред. А.В.Грищенко. – М.: Маршрут, 2004. – 172 с.

8. Космодамианский А.С. Автоматическое регулирование температуры обмоток тяговых электрических машин локомотивов: Монография. – М.: Маршрут, 2005. – 256 с.

# КУРСОВАЯ РАБОТА

## ВВЕДЕНИЕ

Современный тепловоз является сложным энергетическим объектом, где использованы достижения дизелестроения, электромашиностроения, полупроводниковой техники и т.д. Практически, без применения различных автоматических устройств машинист уже не в состоянии поддерживать рациональные режимы работы различных агрегатов и узлов тепловоза. Поэтому автоматизация работы агрегатов и систем современных локомотивов является важнейшим фактором их эффективного использования и повышения надежности.

Основной задачей курса «Автоматика и микропроцессорная техника локомотивов» является изучение основ теории автоматических систем, принципов построения локомотивных автоматических систем управления, регулирования и защиты, методики их настройки.

Кроме рекомендованных учебных пособий, целесообразно при изучении курса и выполнении настоящей курсовой работы ознакомиться с такими периодическими изданиями, как журналы «Локомотив», «Железнодорожный транспорт», реферативные сборники «Электротехническая промышленность (серия «Тяговое и подъемно-транспортное оборудование»)» и др.

*Цель настоящей работы* – помочь студенту в изучении теоретических разделов и методики разработки конструктивных схем различных устройств автоматики, применяемых на современных тепловозах.

## ЗАДАНИЕ

В работе студент должен разработать одну из тем по автоматике и автоматизации тепловоза и решить две задачи по теории автоматических систем.

Тема работы выбирается с помощью таблицы по последней цифре шифра студента.

Вариант (последняя цифра шифра)	Наименование темы	Литература
1	Автоматическая система регулирования частоты вращения вала дизеля тепловоза ТЭП70	1, 6
2	Автоматическая система регулирования напряжения тягового генератора тепловоза ЧМЭЗ	1, 2, 6
3	Автоматическая система регулирования напряжения тягового генератора тепловоза ТЭМ2	1, 2, 6
4	Автоматическая система регулирования напряжения тягового генератора тепловоза 2ТЭ10В	1, 2, 6
5	Автоматическая система регулирования напряжения тягового генератора тепловоза 2ТЭ116	1, 2, 6
6	Автоматическая система регулирования температуры теплоносителей дизеля тепловоза 2ТЭ10В	1, 4, 6
7	Автоматическая система регулирования температуры теплоносителей дизеля тепловоза ТЭМ7	1, 4, 6
8	Автоматическая система регулирования температуры теплоносителей дизеля тепловоза ТЭП70	1, 4, 6
9	Автоматическая система управления электрической передачей тепловоза 2ТЭ116	1, 6
0	Автоматическая система защиты дизеля тепловоза 2ТЭ116 по предельному значению температуры теплоносителей	1, 6

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Работа должна содержать:

1. Введение.
2. Описание заданной автоматической системы управления, регулирования или защиты, ее назначение, условия эксплуатации, принцип действия, принципиальную и функциональную схемы автоматической системы управления, регулирования или защиты, назначение основных функциональных элементов, вопросы устойчивости систем.

3. Решение двух задач по теории автоматических систем (по своему варианту)

Работа должна быть выполнена в тетради, сброшюрованной из листов формата 210×297 мм, с обязательным оставлением полей для замечаний рецензента, аккуратно, разборчивым почерком. При выборе требуемых расчетных величин, использовании таблиц, формул, справочных материалов необходимо ссылаться на источники. Графическая часть работы выполняется на миллиметровой бумаге. Таблицы и графики необходимо вставлять в тетрадь так же, как и страницы с текстом в корешок тетради (не следует приклеивать графики и таблицы к полям страницы!). Страницы работы, таблицы и графики должны быть пронумерованы, работу следует подписать и указать дату ее выполнения.

После получения прорецензированной работы необходимо, независимо от того зачтена она или нет, исправить все замечания и сделать требуемые дополнения. Если работа не зачтена, следует в кратчайший срок выполнить требования рецензента и передать исправленную работу вместе с рецензией для повторной проверки. При этом нет необходимости переписывать целиком работу или отдельные ее разделы, а также производить исправления по написанному тексту; все исправления и дополнения должны быть сделаны на отдельных листах и вклеены или вшиты в соответствующие места работы. Стирать или зачеркивать замечания рецензента запрещается.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ**

1. *Во введении* необходимо кратко показать актуальность темы, роль и значение автоматики и автоматизации в управлении и регулировании силовых установок тепловозов и т.д., необходимо также отметить цель работы.

2. *В разделе* «Назначение, условия и принцип действия заданной автоматической системы управления (АСУ), регулирования (АСР) или защиты (АСЗ)» следует рассмотреть принципиальную, функциональную схему АСУ, АСР или АСЗ,

привести описание ее работы, основные характеристики, проанализировать взаимосвязь отдельных функциональных элементов автоматики, дать краткую оценку устойчивости систем.

3. В разделе, предусматривающем решение задач по теории автоматических систем, следует:

3.1. Аппроксимировать экспериментальную нормированную переходную временную кривую  $h(\tau)$  объекта регулирования, полученную после скачкообразного изменения возмущения на входе, передаточной функцией вида

$$W(p) = k \cdot e^{-p\tau_3} \cdot \frac{1}{T_p + 1}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент усиления (передачи) объекта регулирования;

$\tau_3$  – время запаздывания объекта регулирования, с;

$T$  – постоянная времени объекта регулирования, с;

$h$  – ордината регулируемой величины;

$\tau$  – текущее время, с.

Переходная временная кривая  $h(\tau)$  объекта регулирования задана в табличной форме (см. табл. 1.).

Следует:

- построить график кривой  $h(\tau)$ , выбрать на нем точки  $A$  и  $B$ , соответствующие значениям ординаты  $h_A \approx 0,3$  и  $h_B \approx 0,9$ ;
- определить графическим способом значения текущего времени  $\tau$  для  $h_A$  и  $h_B$ ;
- найти значения динамических параметров объекта регулирования  $\tau_3$  и  $T$ , используя выражения

$$\tau_3 = \frac{\tau_B \cdot \ln(1-h_A) - \tau_A \cdot \ln(1-h_B)}{\ln(1-h_A) - \ln(1-h_B)}, \quad (2)$$

$$T = -\frac{\tau_A - \tau_3}{\ln(1-h_A)}. \quad (3)$$

Таблица 1

**Ординаты переходной временной кривой  $h(\tau)$   
объекта регулирования**

Вариант	Текущее время $\tau$ , с																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	0,05	0,13	0,24	0,39	0,58	0,75	0,85	0,91	0,95	0,97	0,98	0,99	1,0							
1	0	0,04	0,12	0,20	0,32	0,46	0,61	0,72	0,80	0,85	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	1,0				
2	0	0,04	0,10	0,17	0,28	0,40	0,52	0,60	0,67	0,74	0,79	0,83	0,88	0,92	0,95	0,97	0,98	1,0			
3	0	0,03	0,08	0,15	0,22	0,32	0,42	0,52	0,60	0,67	0,74	0,79	0,83	0,87	0,91	0,95	0,97	0,99	1,0		
4	0	0,02	0,06	0,11	0,18	0,26	0,35	0,43	0,51	0,59	0,65	0,72	0,77	0,82	0,87	0,91	0,95	0,98	0,99	1,0	
5	0	0,01	0,04	0,08	0,14	0,20	0,28	0,37	0,46	0,55	0,64	0,72	0,79	0,84	0,88	0,92	0,95	0,97	0,98	0,99	1,0
6	0	0,01	0,04	0,08	0,15	0,23	0,32	0,44	0,55	0,65	0,73	0,79	0,84	0,87	0,92	0,94	0,96	0,98	0,99	1,0	
7	0	0,01	0,05	0,09	0,16	0,27	0,40	0,54	0,65	0,75	0,81	0,85	0,88	0,91	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,0
8	0	0,01	0,05	0,11	0,20	0,32	0,50	0,65	0,74	0,80	0,84	0,88	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,0
9	0	0,02	0,07	0,15	0,26	0,44	0,62	0,75	0,82	0,88	0,91	0,94	0,96	0,98	0,99	0,99	1,0				

3.2. Рассчитать аппроксимирующую нормированную переходную временную кривую  $h_a(\tau)$  объекта регулирования, используя выражение

$$\begin{cases} h(\tau) = 0 & \tau > \tau_3 \\ h(\tau) = h_\infty \left[ 1 - e^{-\frac{\tau - \tau_3}{T}} \right] & 0 \leq \tau \leq \tau_3 \end{cases} \quad (4)$$

и полученные ранее значения динамических параметров объекта регулирования  $\tau_3$  и  $T$ .

Данные расчета свести в таблицу. Наложить на график экспериментальной кривой  $h(\tau)$  аппроксимирующую кривую  $h_a(\tau)$ .

## ПРИМЕР

**выполнения задания по разделу «Назначение, условия и принцип действия заданной автоматической системы управления, регулирования или защиты»**

### АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ТЯГОВОГО СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА

Применяемые в электрических передачах отечественных тепловозов тяговые полупроводниковые преобразовательные установки — выпрямители (управляемые и неуправляемые), инверторы, преобразователи частоты, имеют, как правило, принудительное воздушное охлаждение. В штатном исполнении системы охлаждения тяговых полупроводниковых преобразовательных установок должны обеспечить подачу охлаждающего воздуха, соответствующую расчетным режимам работы электрических передач. Однако, как электровозы, так и тепловозы (особенно маневровые) редко работают на расчетных режимах. Несоответствие количества подаваемого охлаждающего

воздуха количеству теплоты, отводимого от силовых полупроводниковых приборов (неуправляемых вентилях, тиристорх, транзисторх), приводит к тому, что их температура изменяется в широких пределах. Как показали исследования, выполненные специалистами ВНИИЖТ, ресурс силовых полупроводниковых приборов зависит не только и не столько от уровня температуры, сколько от амплитуды и частоты циклических изменений температуры. Стабилизацию температурных режимов работы и защиту от перегрева силовых полупроводниковых приборов может обеспечить автоматическая система регулирования температуры (АСРТ) непрерывного действия, имеющая определенные преимущества перед замкнутыми системами регулирования релейного действия или разомкнутыми системами регулирования.

Возможность и целесообразность введения систем, автоматически изменяющих количество воздуха в системах охлаждения тяговых полупроводниковых преобразовательных установок локомотивов, специалисты ВНИИЖТ отмечали еще в 1970-х годах. Актуальность этой проблемы сохраняется и в настоящее время, поскольку тяговые полупроводниковые преобразовательные установки находят все более широкое применение в электрических передачах современного тягового подвижного состава.

Функциональная схема АСРТ тяговой полупроводниковой преобразовательной установки тепловоза представлена на рис. 1. Обозначения на схеме: ОР – объект регулирования (поз. 1); ИУ1, ИУ2 - измерительные устройства - датчики регулируемой величины (температуры) (поз. 2 и 3); ИУ3, ИУ4 – измерительные устройства - датчики основных возмущающих воздействий (поз. 4 и 5); ИУ5 - измерительное устройство - датчик регулирующего воздействия (поз. 6); СУ1, СУ2, СУ3 – сравнивающие устройства (поз. 7, 8 и 9); ЗУ1, ЗУ2, ЗУ3 – задающие устройства - задатчики заданных значений величин (поз. 10, 11 и 12); УВ – устройство выбора максимального значения вы-



ходного сигнала датчика регулируемой величины (поз. 13); УК – устройство коррекции коэффициента передачи регулятора, содержащее математическую модель системы охлаждения тяговой полупроводниковой преобразовательной установки (поз. 14); РО – регулирующий орган (поз. 15); ИМ – исполнительный механизм (поз. 16). Исполнительный механизм ИМ и регулирующий орган РО образуют ИРУ – исполнительно-регулирующее устройство. На рис. 1:  $\varphi_{11}$  и  $\varphi_{12}$  – регулируемые величины;  $\lambda_1, \lambda_2$  – основные возмущения, воздействующие на объект регулирования температуры ОРТ;  $\mu$  – регулирующее воздействие;  $h_{им}$  – выходной сигнал исполнительного механизма;  $X_{дi}$  – выходные сигналы датчиков;  $X_{зj}$  – выходные сигналы задатчиков;  $\Delta X_{cy}$  – выходные сигналы сравнивающих устройств;  $\Delta X_k$  – выходной сигнал устройства коррекции коэффициента передачи регулятора;  $\eta_1, \eta_2, \eta_3$  – сигналы задания.

В АСРТ функции объекта регулирования выполняет система охлаждения тяговой полупроводниковой преобразовательной установки СО (поз. 17), функции измерительных устройств ИУ1 и ИУ2 выполняют датчики температуры ДТ1 и ДТ2 (поз. 18 и 19). Этих датчиков может быть несколько в зависимости от числа силовых полупроводниковых приборов, которые могут иметь наиболее высокие температуры. Функции измерительного устройства ИУ3 выполняет датчик тока нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки ДТН (поз. 20), измерительного устройства ИУ4 – датчик температуры наружного охлаждающего воздуха ДТЗ (поз. 21), а измерительного устройства ИУ5 – датчик подачи вентилятора охлаждения ДПВ (поз. 22).

Функции регулирующего органа РО выполняет вентилятор охлаждения ВО (поз. 23), а функции исполнительного механизма ИМ – привод вентилятора ПВ (поз. 24). Все функциональные элементы системы регулирования (кроме объекта регулирования ОРТ) образуют регуляторы температуры: по отклонению регулируемой температуры от заданного значения (ИУ1, ИУ2, ЗУ1, СУ1, ИУ5, УК, ИМ и РО) и регуляторы по

основным возмущениям: по току нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки (ИУ3, ЗУ2, СУ2, ИМ и РО) и по температуре наружного охлаждающего воздуха (ИУ4, ЗУ3, СУ3, ИМ и РО). Регулятор по отклонению вместе с ОРТ образуют замкнутый контур в системе регулирования, а регуляторы по возмущениям — разомкнутые контуры.

В АСРТ используется два дополнительных сигнала управления: по току нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки и по температуре наружного охлаждающего воздуха, поэтому эта система является автоматической комбинированной системой регулирования с сигнальной компенсацией действия основных возмущений: тока нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки и температуры наружного охлаждающего воздуха. Использование дополнительных сигналов управления позволяет значительно увеличить запасы устойчивости системы и показатели качества ее работы (относительное перерегулирование, время регулирования и др.), то есть уменьшить амплитуду колебаний температуры силовых полупроводниковых приборов и уменьшить затраты энергии на охлаждение силовых полупроводниковых приборов.

Устойчивость и качество работы системы регулирования зависят от значения ее такого статического параметра как коэффициент передачи системы регулирования  $k_{pc}$  (в разомкнутом состоянии), который равен произведению коэффициента передачи объекта регулирования температуры ОР  $k_{орт}$  и коэффициента передачи регулятора по отклонению  $k_p$ , то есть при постоянном значении  $k_p$  коэффициент  $k_{pc}$  будет изменяться пропорционально коэффициенту  $k_{орт}$ . Известно, что коэффициент  $k_{орт}$  систем охлаждения как тепловых объектов регулирования увеличивается при уменьшении тепловой нагрузки, что приводит к увеличению коэффициента  $k_{pc}$  и к уменьшению устойчивости и качества работы, то есть к значительным колебаниям регулируемой величины  $\varphi$ . Для системы регулирования температуры тяговой полупроводниковой преобразовательной установки это означает, что при уменьшении

тока нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки  $I_H$  или температуры наружного охлаждающего воздуха  $T_2$  будет увеличиваться  $k_{орт}$ , что приведет к увеличению коэффициента  $k_{рс}$  и к уменьшению устойчивости и качества работы системы, то есть к значительным колебаниям регулируемой температуры силовых полупроводниковых приборов  $T_1$ .

В автоматической системе регулирования коэффициент передачи автоматического регулятора  $k_p$  изменяется автоматически в зависимости от регулирующего воздействия  $\mu$  (количества подаваемого вентилятором охлаждающего воздуха  $G_{вз}$ ) с помощью измерительных устройств ИУ5 и УК таким образом, чтобы коэффициент передачи системы регулирования (по замкнутому контуру)  $k_{рс}$  оставался постоянным при любых токах нагрузки тяговой полупроводниковой преобразовательной установки  $I_H$  и при любых температурах наружного охлаждающего воздуха  $T_2$  (см. рис. 2).

**Зависимости коэффициентов  $k_{орт}$ ,  $k_p$  и  $k_{рс}$  от количества подаваемого вентилятором охлаждающего воздуха  $G_{вз}$  при постоянном коэффициенте  $k_p$  (а) и при постоянном коэффициенте  $k_{рс}$  (б)**

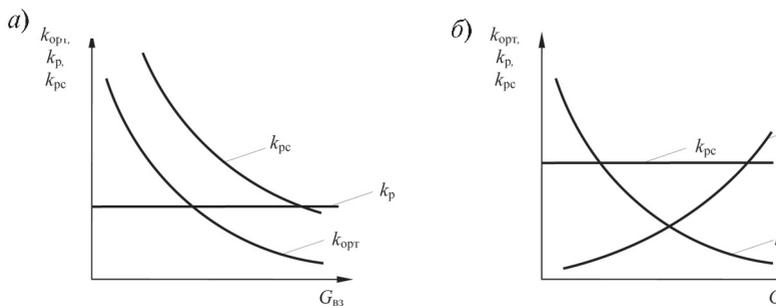


Рис. 2

Таким образом, применение измерительного устройства ИУ5 и устройства коррекции коэффициента передачи регулятора УК позволяет осуществить параметрическую компенсацию действия основных возмущений: тока нагрузки тяговой

полупроводниковой преобразовательной установки и температуры наружного охлаждающего воздуха.

На принципиальной блок-схеме предлагаемой автоматической системы регулирования температуры тяговой полупроводниковой преобразовательной установки тягового транспортного средства, представленной на рис. 3, функции всех вычислительных устройств (СУ, УВ, УК) и ЗУ выполняет микропроцессорный контроллер МПК (поз. 25). Предлагаемая автоматическая система регулирования температуры тяговой полупроводниковой преобразовательной установки тепловоза средства содержит следующие основные элементы: тяговую полупроводниковую преобразовательную установку 26, питаемую напряжением  $V_1$ , установленную в воздуховоде 27, соединенном нагнетательным воздухопроводом 28 с вентилятором охлаждения 23, датчики 18 и 19 температуры  $T_{11}$  и  $T_{12}$  силовых полупроводниковых приборов 29 и 30, сопротивления нагрузки (например, активно-индуктивного  $R_H$ - $L_H$  сопротивления 31 и 32 тяговых электродвигателей), датчик 20 тока нагрузки тяговой

### Принципиальная схема автоматической системы регулирования температуры тяговой полупроводниковой преобразовательной установки тепловоза

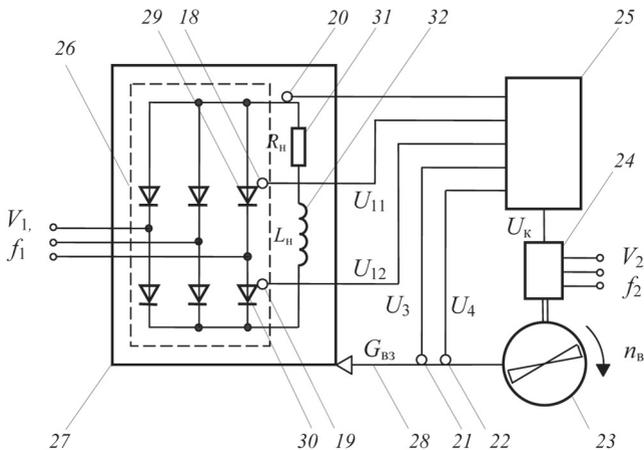


Рис. 3

полупроводниковой преобразовательной установки, плавно управляемый привод 24 вентилятора охлаждения, питаемый напряжением  $V_2$ , датчик 21 температуры  $T_2$  наружного охлаждающего воздуха, датчик 22 количества охлаждающего воздуха  $G_{вз}$  23 и микропроцессорный контроллер 25.

## ПРИМЕР

### выполнения задания по разделу «Решение задач по теории автоматических систем»

В табл. 2. (вторая строка) приведены ординаты реальной экспериментальной переходной кривой  $t_d(\tau)$  системы охлаждения диодов тяговой выпрямительной установки типа УВКТ-8 как объекта регулирования температуры (по температуре  $t_d$  корпуса диода типа ВЛ200) при скачкообразном уменьшении регулирующего воздействия  $\mu$  – скорости охлаждающего воздуха - с 19 до 12 м/с, токе тяговой выпрямительной установки 3000А и температуре охлаждающего воздуха 21°С.

Рассчитаем экспериментальную нормированную переходную кривую  $h(\tau)$  объекта регулирования так, как показано ниже.

При  $\tau = 0$  с

$$h(\tau) = \frac{33,20 - 33,20}{40,30 - 33,20} = 0,$$

при  $\tau = 40$  с

$$h(\tau) = \frac{33,38 - 33,20}{40,30 - 33,20} = 0,025,$$

при  $\tau = 80$  с

$$h(\tau) = \frac{33,83 - 33,20}{40,30 - 33,20} = 0,089 \text{ и так далее,}$$

где  $t_d = 33,20^\circ\text{C}$  – температура диода в момент времени  $\tau = 0$  с,

$t_d = 40,30^\circ\text{C}$  – температура диода в момент времени  $\tau = 960$  с и т.д.

Результаты расчетов занесем в третью строку табл. 2.

Построим график экспериментальной нормированной переходной кривой  $h(\tau)$  как показано на рис. 4. (линия «эксперимент»). Выберем на этом графике точки  $A$  и  $B$  с координатами  $\tau_A = 200$  с,  $h_A = 0,330$  и  $\tau_B = 600$  с,  $h_B = 0,896$ .

Определим значения динамических параметров  $\tau_3$  и  $T$  в соответствии с выражениями (2) и (3)

$$\tau_3 = \frac{600 \cdot \ln(1-0,330) - 200 \cdot \ln(1-0,896)}{\ln(1-0,330) - \ln(1-0,896)} = \frac{212,4}{1,86} \approx 114 \text{ с}$$

$$T = -\frac{200 - 114}{\ln(1-0,330)} = \frac{86}{0,4005} \approx 215 \text{ с.}$$

Таблица 2

$\tau, \text{с}$	0	40	80	120	160	200	240	280	320
$t_n, ^\circ\text{C}$	33,20	33,38	33,83	34,38	34,95	35,54	36,12	36,67	37,20
$h(\tau)$	0	0,025	0,089	0,166	0,247	0,330	0,411	0,489	0,563
$h_a(\tau)$	0	0	0	0,028	0,193	0,330	0,443	0,538	0,616
$\tau, \text{с}$	360	400	440	480	520	560	600	640	680
$t_n, ^\circ\text{C}$	37,68	38,12	38,51	38,84	39,13	39,36	39,56	39,72	39,86
$h(\tau)$	0,631	0,693	0,748	0,795	0,835	0,868	0,896	0,919	0,938
$h_a(\tau)$	0,682	0,736	0,780	0,818	0,849	0,874	0,896	0,913	0,928
$\tau, \text{с}$	720	760	800	840	880	920	960		
$t_n, ^\circ\text{C}$	39,97	40,07	40,14	40,19	40,24	40,27	40,30		
$h(\tau)$	0,954	0,967	0,977	0,985	0,991	0,996	1		
$h_a(\tau)$	0,940	0,950	0,959	0,966	0,972	0,976	0,980		

Рассчитаем аппроксимирующую переходную кривую  $h_a(\tau)$  и наложим ее на экспериментальную нормированную переходную кривую  $h(\tau)$ .

Для расчетов используем выражения (4) так, как показано ниже

$$\begin{cases} h_a(\tau) = 0; & 0 \leq \tau \leq 114 \text{ с} \\ h_a(\tau) = 1 \cdot \left[ 1 - e^{-\frac{\tau-114}{215}} \right]; & \tau > 114 \text{ с} \end{cases}$$

Аппроксимация экспериментальной переходной временной кривой решением дифференциального уравнения первого порядка с запаздыванием

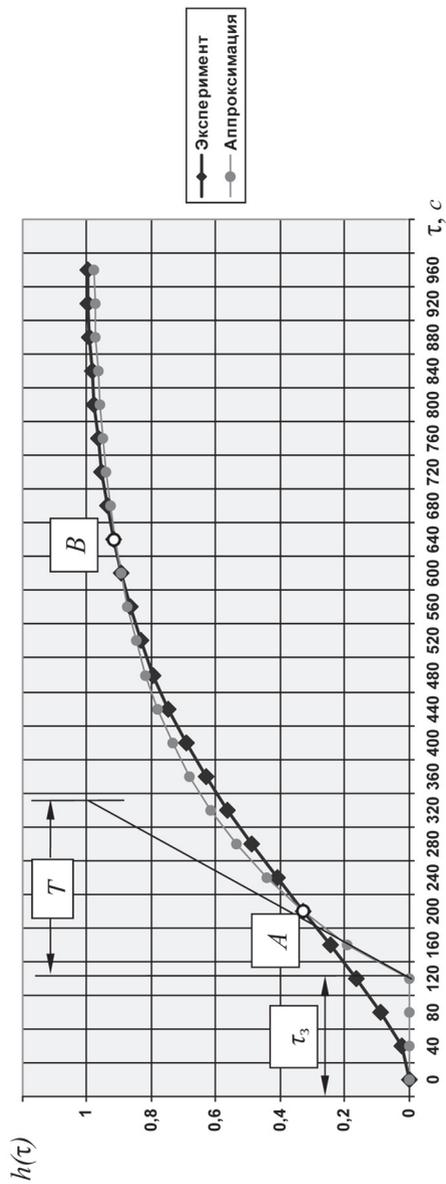


Рис. 4

Так, при  $\tau = 240$  с

$$h_a(\tau) = 0,443;$$

при  $\tau = 560$  с

$$h_a(\tau) = 0,874$$

при  $\tau = 920$  с

$$h_a(\tau) = 0,976 \text{ и т.д.}$$

На рис. 4 аппроксимирующей переходной кривой соответствуют линии «аппроксимация». Причем в интервале  $0 \leq \tau \leq 114$  с все ординаты равны нулю и линия «аппроксимация» совпадает с осью времени  $\tau$ .

При  $\tau > 114$  с ординаты ложатся на экспоненту с постоянной времени  $T = 215$  с.

В точках  $A$  и  $B$  экспериментальная нормированная переходная кривая  $h(\tau)$  и аппроксимирующая переходная кривая  $h_a(\tau)$  должны пересечься.

Расчитанные значения  $h_a(\tau)$  сведем в табл. 2 (четвертая строка).

**АВТОМАТИКА  
И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ  
ТЕХНИКА ЛОКОМОТИВОВ**

Рабочая программа и задание на курсовую работу  
с методическими указаниями

Редактор Г. В. Тимченко

Корректурa Д. Н. Тихоныхев

Компьютерная верстка Е. В. Ляшкевич

---

Тип. зак.	Изд. зак. 210	Тираж 500 экз.
Подписано в печать 22.10.10	Гарнитура NewtonС	Ризография
Усл. печ. л. 1,75		Формат 60×90 <sup>1/16</sup>

---

Редакционный отдел  
Информационно-методического управления РОАТ,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати  
Информационно-методического управления РОАТ,  
125993, Москва, Часовая ул., 22/2